

出國報告（出國類別：洽公）

洽辦安全相關儀控及電氣設備 數位化改善案

服務機關：台灣電力公司核能發電處

姓名職稱：楊文龍 儀電課長

派赴國家：德國

出國期間：95.12.3~95.12.16

報告日期：96.2.1

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：洽辦安全相關儀控及電氣設備數位化改善案

頁數 35 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/(02) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

楊文龍/台灣電力公司/核能發電處/儀電課長/(02) 2366-7061

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(洽公)

出國期間：95.12.3~95.12.16 出國地區：德國 法蘭克福

報告日期：96.2.1

分類號/目

關鍵詞：AREVA NP 安全數位儀控 TELEPERM

內容摘要：(二百至三百字)

一、與廠家(AREVA NP /SIEMENS 公司)討論：

AREVA NP 公司最新的數位儀控/電氣系統、安全相關儀控/電氣系統的規畫經驗、AREVA 數位系統對美國 NRC 法規的適應性、歐洲反應器安全保護設計理念、核三廠反應器保護系統數位化、AREVA TELEPERM XS/XP 系統適用台電核電廠的可行性以及各核電廠未來儀控與電氣設備之數位化更新改善案等。

二、除了上述問題與 AREVA NP 公司相關部門的專家深入洽談外，並赴下列各儀器廠/核電廠參訪，以瞭解 AREVA 公司的技術能力和儀器設施的品保制度，以研判其儀控系統對核電廠現代化的助益。

1. 參訪 AREVA Karlstein 儀電設備製造廠，洽談核四中/低壓斷路器的檢驗、測試程序及中子偵檢器的製造過程。
2. 參訪 Isar 2 (PWR 1450 MW) 核能電廠，瞭解儀電系統數位化的改善規劃、容量因數全球之冠的重要原因、四串安全保護串設計的績效。
3. 參訪 SIEMENS Karlsruhe 儀器製造廠，瞭解 TELEPERM 系統模組的製造、組立、品檢流程以及 SIEMENS 多角化工業儀器產品的展示。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網(<http://report.gsn.gov.tw>)

目 次

	頁次
壹、出國目的	4
一、緣由	4
二、計畫目標	4
貳、公務的過程與內容	6
一、出國過程	6
二、公務內容	7
(一)AREVA 公司概況	7
(二)TELEPERM 儀控系統	10
(三)安全相關電氣設備之改善案討論	17
(四)Karlstein 工廠參訪	22
(五)Isar 核能電廠參訪	24
(六)Karlsruhe 工廠參訪	26
參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項	30
肆、國外公務之心得與感想	32
伍、對本公司之建議事項	34

壹、出國目的

一、緣由

台電公司核能電廠已運轉了近三十年，八〇年代的儀電控制系統大都為類比式控制，當時控制系統資料的量與處理速度、系統可靠性的要求、人機界面的友善度、資料儲存量、遙測網路的興起、系統保安的觀念、營運人力的精簡、數位系統的建構與容量、個人電腦的風行與靈活性、數位系統的經濟效益性與需求等並不殷切，這在早年系統複雜度不高的時代，類比系統尚可滿止需求。

而近年來控制系統的建構日趨龐大與複雜，類比系統的功能已逐漸不能符合企業界的需求，且數位化系統功能多樣性發展日趨成熟而成本日趨降低，而逐漸成為控制系統的主流。核能電廠為現代尖端科技的產業，為確保運轉的安全性與營運競爭力，控制系統的數位化更新自然成為公司營運的重要策略，控制系統數位化已成為追求核能永續經營必須全力以赴的目標。

身為核能電廠主管處的核能發電處，在監督核能電廠的職責之下，對電廠儀控系統數位化更新的過程中可能遭遇的困難，應利用各種管道取得資訊協助克服，並善盡建議之責。

二、計畫目標

目前運轉中的三個核能電廠已有一些儀控系統完成數位化更新，如核一廠：中子偵測系統、汽機控制系統、氣渦輪機控制系統等，核二廠：中子偵測系統、飼水控制系統、自動電壓調整器(AVR)、汽機控制系統等，核三廠：自動電壓調整器(AVR)、反應器控制系統(NSSS)、BOP 控制系統等，而正在進行的有三個廠的飼水超音波流量計數位化更新，核三廠反應器保護系統的數位化已委託核研所進行研發計畫為核電廠儀控數位化的重要標竿方案。

而核四廠為全面數位化控制的最進步型核能電廠，各數位化系統的整合是未來的關鍵性工作，各系統之間須建立最佳界面連結以發揮數位系統的統合績效並排除系統之間的不協調。

而本出國計畫的目的，即赴德國 AREVA NP 公司洽談德國核能電廠儀控數位化的方案與經驗，尤其核三廠反應器保護系統由類比更新為數位化的工程為國內首次自行研發的計畫，其相關法規的引用、軟體驗證與確認(V & V)程序等必須參考國外先進廠家的技術與經驗；而 AREVA NP 為國際知名的核能工業集團，對核電廠的設計、建造、績效改善、技術服務(BWR & PWR)皆有相當的實績與經驗，值得我們借鏡與學習。期待透過與 AREVA 相關儀電部門洽談並實地參訪儀器製造工廠，瞭解先進國家核能電廠儀控數位化的理念與經驗，而對未來核能電廠的數位化改善工程有所建言。

貳、公務的過程與內容

一、出國過程

(一)95年12月3日~95年12月4日

 往程 (台北 → 德國 法蘭克福)

(二)95年12月5日~95年12月14日

 法蘭克福 AREVA NP GmbH

 並安排 Karlstein 工廠、

 Isar 核能電廠、

 Karlsruhe 工廠 參訪。

(三)95年12月15日~95年12月16日

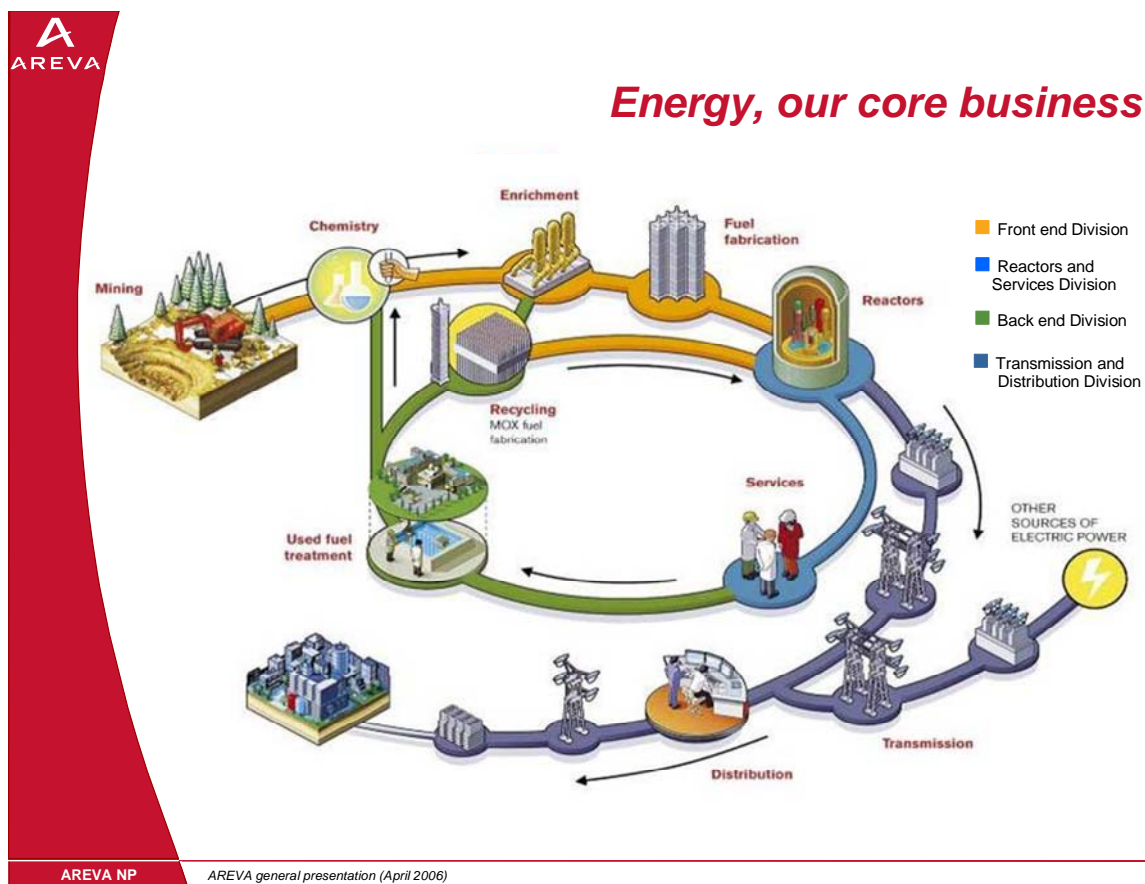
 返程 (德國 法蘭克福→台北)

二、公務內容

本次出國的主要公務內容是與德國 AREVA NP 公司洽談核能電廠儀控系統數位化的相關改善經驗，AREVA 公司對台電人員的參訪一向重視，在用心地的安排之下，本人與多位 AREVA NP 公司儀電部門的主管、西門子(Siemens)公司的儀電工程師進行深入的討論，洽談的公務內容如下：

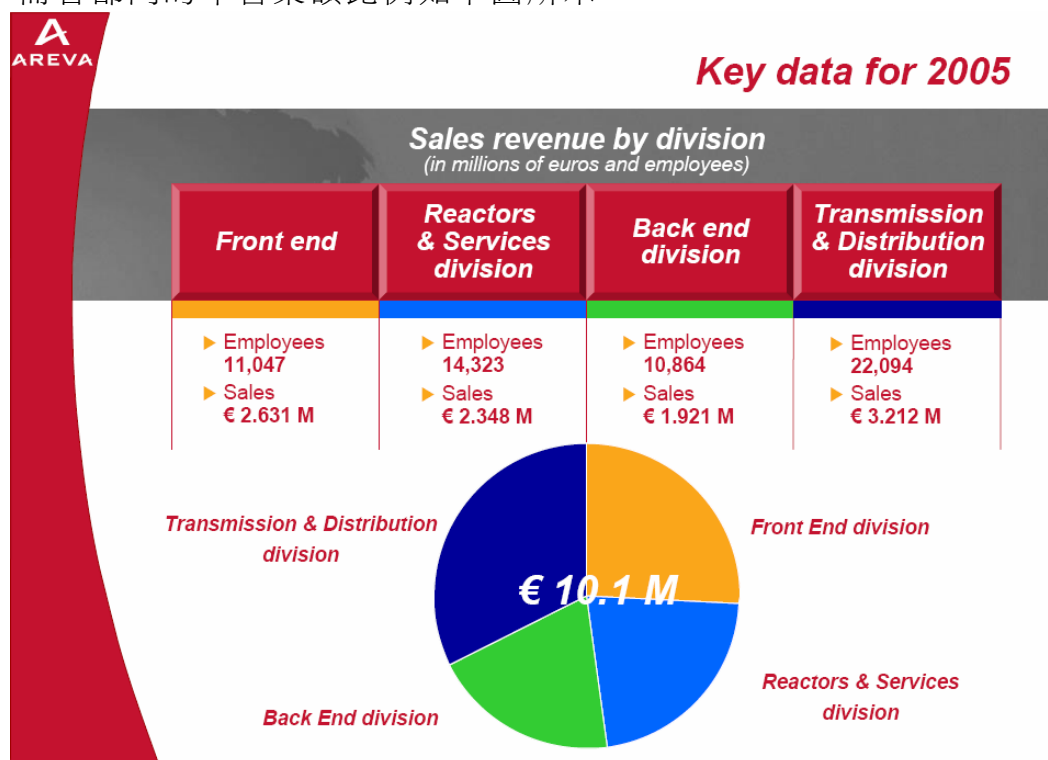
(一) AREVA NP 公司概況

AREVA 企業集團在法國核能工業的發展過程中居於領導的重要地位，基於全球化發展的策略，AREVA 集團與歐美相關同業進行策略聯盟的合併後，其總部設於法國巴黎，其旗下組織依業務範圍分為 AREVA NC、AREVA NP、AREVA TA 及 AREVA T&D 等部門，涵蓋能源與輸配電系統的相關業務，如下圖所示：



1. 核能發電前端 (Front end division) 部份：	
① 鈾礦開採	AREVA NC
② 鈾原料化學提煉	AREVA NC
③ 鈾濃縮處理	AREVA NC
④ 鈾燃料製造	AREVA NP
2. 核子反應器製造與技術服務 (Reactors & Services division)	
① 核能電廠設計、建造、起動、運轉、設備改善	AREVA NP
② 核能電廠關鍵設備製造	AREVA NP
③ 核能設施維修與改善	AREVA NP
④ 核能量測	AREVA NC
⑤ 資訊管理與服務	AREVA NC
⑥ 核子潛艇與航空母艦反應器設計與生產、維護	AREVA TA
3. 核能發電後端營運 (Back end division)	AREVA NC
4. 輸配電業務 (Transmission & Distribution division)	AREVA T&D

而各部門的年營業額比例如下圖所示：



由上述 AREVA 公司的組織與業務分工，可瞭解 AREVA NP 主要業務在於核能電廠反應器的設計與製造、技術服務、核能儀控系統製造、現代化的維修服務及燃料元件的製造、改善電廠發電績效與核電廠現代化等尖端科技的提供與服務，其業務與本公司目前核能電廠的營運改善實有相當的關連性。

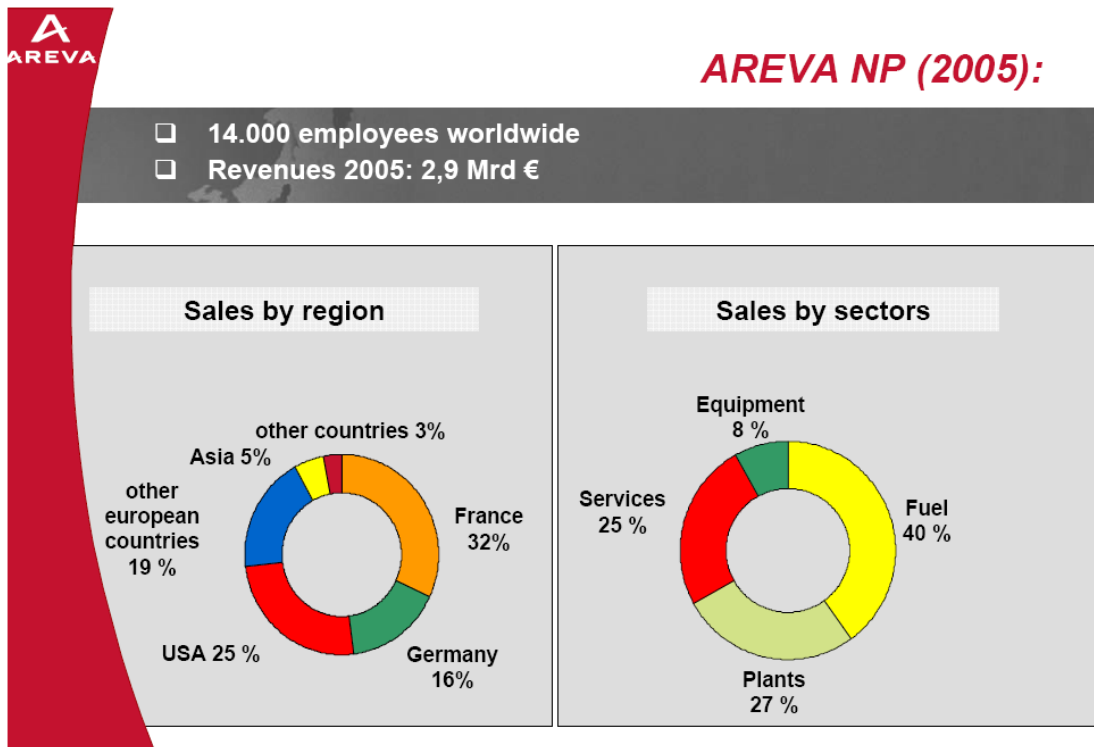
AREVA NP 由 AREVA 和 SIEMENS 合組的公司，為 AREVA 旗下的一家以核能設計、服務為主要的公司，其前身為 FRAMATOME ANP；FRAMATOME 負責核島部份，SIEMENS 則負責儀控部份。AREVA NP 的核能企業網遍佈全球，在世界各地的工程、製造、維修服務及分公司如下圖所示，確是一個跨國的核能工業集團。

AREVA NP worldwide



AREVA NP 的經營地區別及營業項目的比例，如下圖 所示，地區性仍以歐美為主，但近年來中國大陸則是其相當重視的新興市場。

而營業項目以核能燃料生產與供應為最大比例，核能電廠的工程建造及維修均約佔 1/4。



原來 AREVA NP 公司的經營策略是以對歐洲核能電廠提供營運、改善、規劃為主，但近十年來由於核能工業的不景氣，才轉而積極向亞洲其他地區開展市場的開發。

(二) TELEPERM 儀控系統

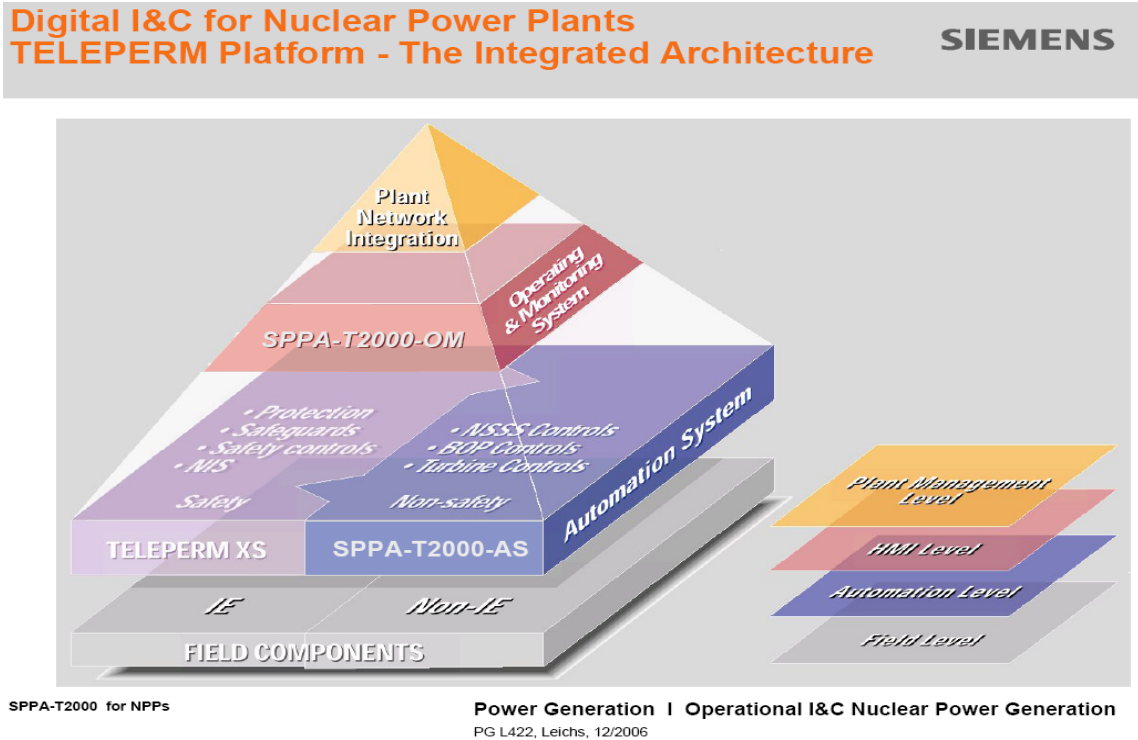
1. AREVA NP 公司數位儀控系統源自 SIEMENS POWER GENERATION 之 SPPA-T2000 (即 TELEPERM XP)，再經 AREVA NP Erlangen Office 研發部門之 Test Bay 測試驗證，而提昇為 TELEPERM XS：

- ① TELEPERM XS 用於安全相關儀控系統
- ② TELEPERM XP 用於一般非安全之儀控系統

以上兩者以 Gateway 隔離而合併應用於核能電廠，可降低維修人力、操作便利，可用性高，而使電廠的控制功能更為靈活，提昇運轉的可靠度。除大量採用於新建核能電廠中，對現有類比儀控系統的數位化更新有相當高的相容性。

2. TELEPERM (XP/XS) 系統的整合平台機制，TELEPERM XS 用於較

高階的安全儀控系統，而在系統現代化 (Modernization) 的計畫中，與其他較低階安全或非安全相關系統之間，可以 TELEPERM XS 建立界面將其整合，如下示意圖：



註：SPPA-T2000 即 TELEPERM XP 之新型號 TELEPERM XP 系統主要設計應用於不需核能認證的核能電廠非安全相關儀控系統，主要包括下列子系統：

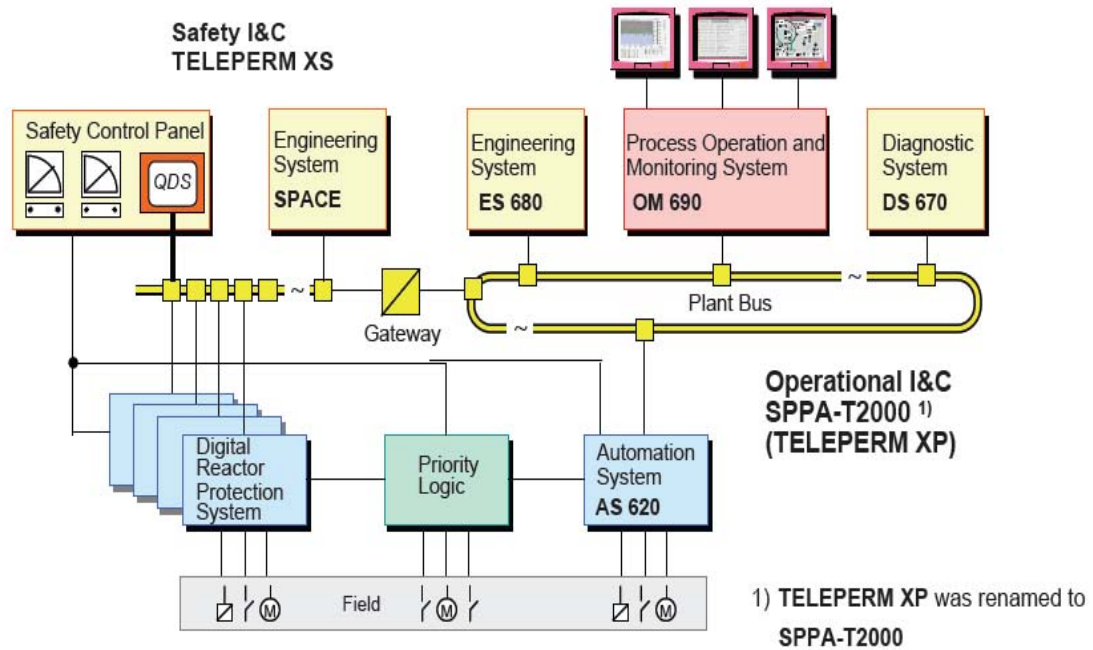
- ① ES 680 工程設計系統
- ② OM 690 程序控制及監測系統
- ③ DS 670 自動診斷系統
- ④ AS 620 自動化系統
- ⑤ 廠內網路匯流排 (Plant Bus)

TELEPERM XS 系統主要設計應用於多重性、多樣性且需核能認證的核能電廠安全相關儀控系統，對事故後圍阻體完整性及放射性物質外洩至週遭環境的防範功能的絕對可靠性要求極高；其採完全分散式控制，在任何層次皆有多重數位控制系統。

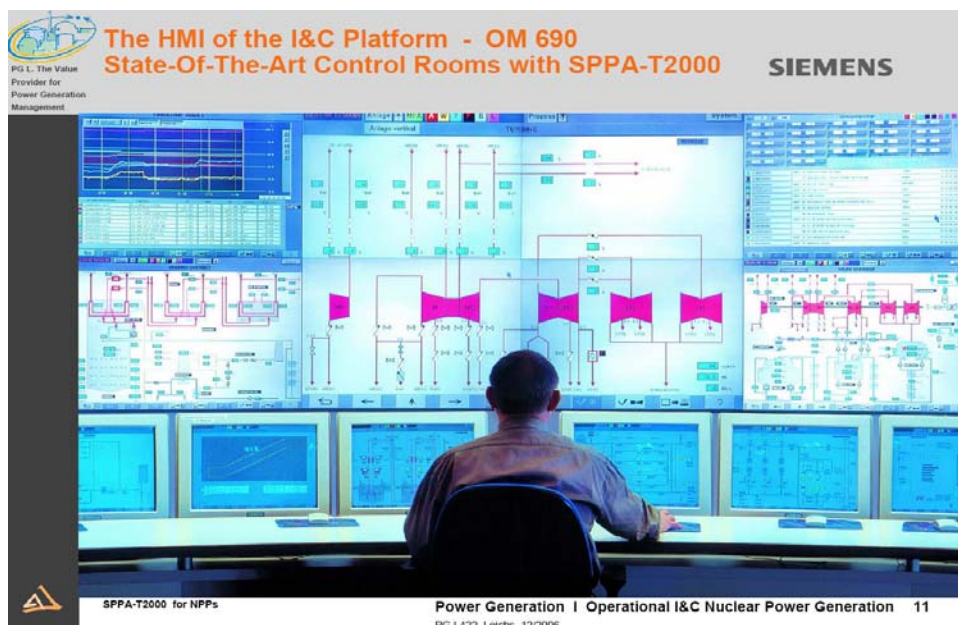
AREVA TELEPERM 控制系統應用於核能電廠儀控系統，可分為安全系統 (Safety)、安全相關系統 (Safety Related) 及非安全

相關系統 (Non-safety)，以引用 Priority Logic 的觀念，使當安全控制系統失效時，亦可透過安全相關系統來啟動安全相關設備，使核電廠的安全功能防禦度仍然有效維持。

以上所述 TELEPERM XP/XS 儀控系統示意圖如下：



採用 SPPA-T2000 (即 TELEPERM XP)系統之新型控制室如下圖：



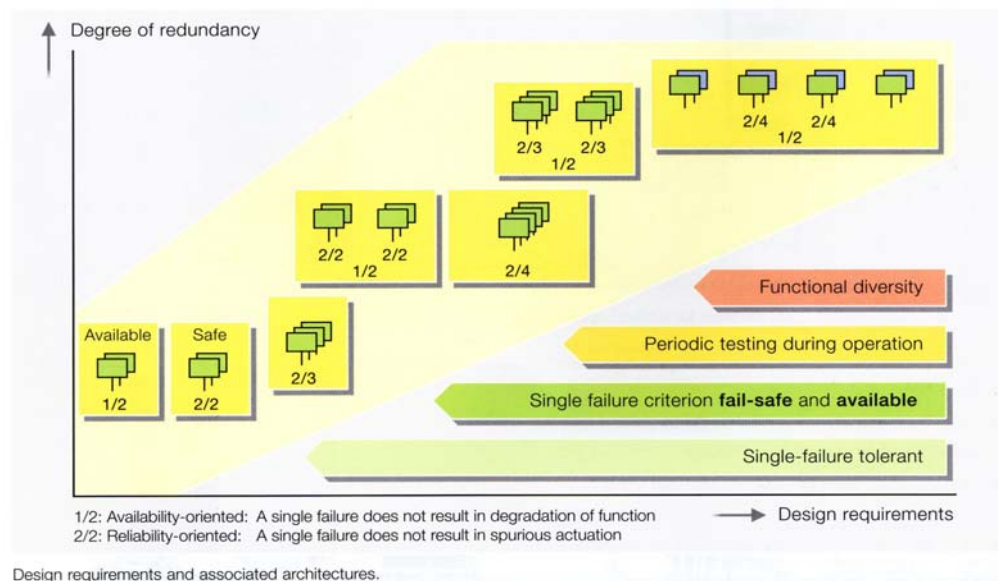
3. TELEPERM XS 數位儀控系統的特色

本次出國任務的重點即 AREVA 公司數位安全儀控系統的瞭解，因此，TELEPERM XS 系統的設計特點與應用成爲洽談的主題，其引用的法規能否應用於台電核能電廠，與國際 IEC 及美國 NRC 準則是否相容，能否獲得原能會的認可，也是討論的重點

TELEPERM XS 數位儀控系統具有以下特色：

- ① 每一個處理器的應用軟體都有固定順序，且週期性地被處理。
- ② TELEPERM XS 系統架構完全採用雙重 (Redundant) 設計，皆符合 IEC 61226、IEC 61513 及 IEC 60987 的標準，容許單一故障。反應器保護系統 (RPS) 具有最大的安全性需求，對於故障 (Fault) 與失效 (Failure) 組合的異常狀況，必須有最合理及符合電廠安全考量的判定準則，以確保電廠最高的運轉效益，在安全與可靠之間取得最佳的平衡點。如包括單一故障及維護、單一故障與火災、外在事故 (如飛機撞擊、地震)。以上考量導致須有實質隔離、電氣隔離、獨立子系統設計的雙重 (Redundant) 系統。

而 TELEPERM XS 系統利用電腦擷取各項系統數位信號，建立符合需求的邏輯串，以防範單一或更多感測器 (Sensor) 失效導致誤跳脫。可根據設計的需求，而建立下圖的多重保護邏輯。



③ TELEPERM XS 系統以 IEC 60780、IEEE 323 以及 KTA 3503 作為硬體驗證的標準。如下表所示：

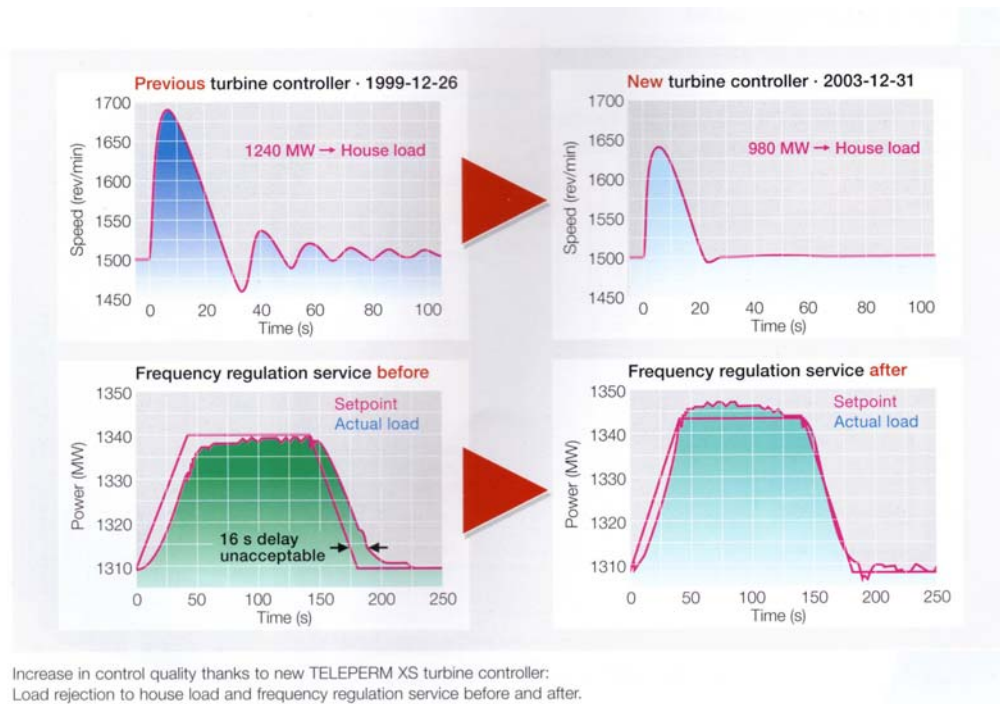
Hardware Qualification Methodology Based on: IEC 60780; KTA 3501; IEEE 323 Common requirements: EN 61131-2; DIN EN 50178; KTA 3503; EPRI TR-107330	
Theoretical Assessment <ul style="list-style-type: none"> ● Agreement on test program ● Critical load analysis ● Failure rate calculations SN 29500 	Climatic Tests IEC 60068-2-xx <ul style="list-style-type: none"> ● Cold; dry and damp heat ● Temperature changes ● Long-run test (1000h)
Visual Inspection IEC 60664; IEC 60529 <ul style="list-style-type: none"> ● Quality of manufacture; creepage distances and clearances ● Class of protection, insulation 	Mechanical Tests IEC 60068-2-yy; IEC 980; IEEE 344 <ul style="list-style-type: none"> ● Oscillating stress (seismic, vibrations) ● Transportational stress ● Shock stress
Functional Test <ul style="list-style-type: none"> ● Operation in acc. with data sheet under nominal and limit conditions 	Electromagnetic Compatibility EN 61000-4, -6; EN 55011; EN 55022; EPRI TR-102323; MIL STD 461, 462 <ul style="list-style-type: none"> ● Emitted interference: – Conducted, field ● Immunity to interference: – Burst, surge, field, discharge
Electrical Test <ul style="list-style-type: none"> ● Power consumption under nominal/minimum/maximum conditions ● Disturbances in power supply ● Heating, insertion/withdrawal 	

- ④ TELEPERM XS 系統應用軟體的發展都經過嚴謹的 V & V 程序，符合 IEC 60880 標準的要求。
- ⑤ TELEPERM XS 系統設計具有未來擴充能力。
- ⑥ TELEPERM XS 系統的硬體設計可耐強震及抗電磁輻射的功能。
- ⑦ TELEPERM XS 系統為第一套經美國 NRC 以新法規 NUREG-0800 認證為適用於核能電廠安全數位儀控的系統。
- ⑧ TELEPERM XS 系統具有早期偵錯、失效隔離、防範事故擴大及不同安全系統鑑別優先處理順序的功能。
- ⑨ TELEPERM XS 系統應用於核能電廠的安全相關系統，如反應爐控制系統、反應爐保護系統 (RPS)、控制棒位偵測系統、核能安全設施引動系統 (ESFAS)、中子偵測系統、輻射偵測系統、緊急柴油發電機系統等。

◆ TELEPERM XS 系統相關品質認證標準：

- ① 供應商資格安全有關品管評估，依據 KTA 1401、IAEA 50-C/SG-Q、ANSI/ASME NQA-1。
- ② 安全有關技術評估由供應商之 FANP 技術單位執行評估認可。
- ③ 品管系統符合國際性法規與標準，如 ISO 9001(2000)、IAEA 50-C/SG-Q (1996)、ISO 14001 (2004)等；另符合各國家核能法規與標準，如 10 CFR 50 App. B/NQA1 (1983)美國、KTA 1401(1996) 德國、Arrete Qualite(1984)法國。

◆ TELEPERM XS 系統係適用於大範圍的系統架構，以及因應強力電腦功能和通訊元件需求而開發設計的系統。但其運用於非安全有關系統，亦能提供高層次的可靠度和績效，尤其重要的是縮短暫態反應時間。如下汽機功率輸出與頻率(轉速)於修改前後的比較圖。



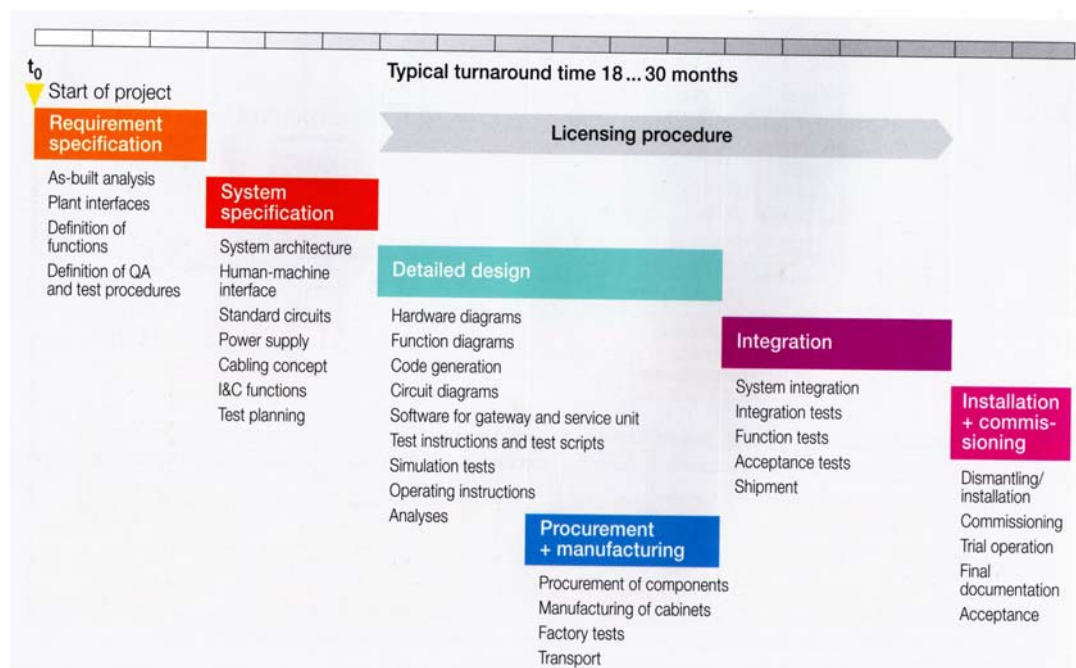
4. TELEPERM XS 數位儀控系統的計畫執行時程與重點

數位安全儀控計畫的策略是以執行時間交錯 (Time-staggered Phases) 的階段方式推動，各階段期間的執行重點如下圖所示，其中計畫之始，需求規範 (Requirement Specification) 與系統

規範 (System Specification) 須儘早確定，而據以建立高品質的系統程序書與基本資料庫。在詳細設計 (Detailed Design) 階段確定硬體的詳細規範並開始採購作業；同時相關的軟體在稍早階段已以模擬器測試過。而詳細的執照審核程序開始準備，嚴格的構型管理 (Configuration Management) 與程序書變更在本階段後期才開始進行。硬體與軟體的整合 (Integration) 在 AREVA Test Bay 驗證完成後才運出設備。程序書必須符合相關安全儀控技術標準，並構成整個計畫的主要成份與基礎。執照程序書在每一狀況，都須編寫成符合國家與顧客的需求。

依照以上各階段的執行模式以確保失誤及改正均已及早確認並避免造成系統潛在的陷阱，以保證此數位安全系統運轉上的高品質。

根據廠家經驗，整個計畫從開始規畫到安裝及相關文件允收完成，約需 18---30 個月；從得標後開始 Basic Design Phase 至 FAT 完成，約需 20 個月。對核三廠即將進行的安全數位改善計畫，此推動的時程，必須詳加注意。



(三)安全相關電氣設備之改善案討論

1. 相關品保及安全評估制度

①品管制度

★通過 NUPIC 成員的稽查---由 Duke Energy 電廠率領 NUPIC 小組在 2004 年四月稽查過。

★符合 10 CFR 50 Appendix B 要求。

★符合 10 CFR Part 21 要求。

②工程設計方案

★具有安全相關設備組件製造的品保計畫。

★具有安全相關設備組件核能檢證品的檢證能力。

★支援 50.59 的安全評估。

2. 儀電設備老化評估

①設備老化評估與自動殘餘壽命計算

(Automatic Residual Time of Life Calculation, AUREST)

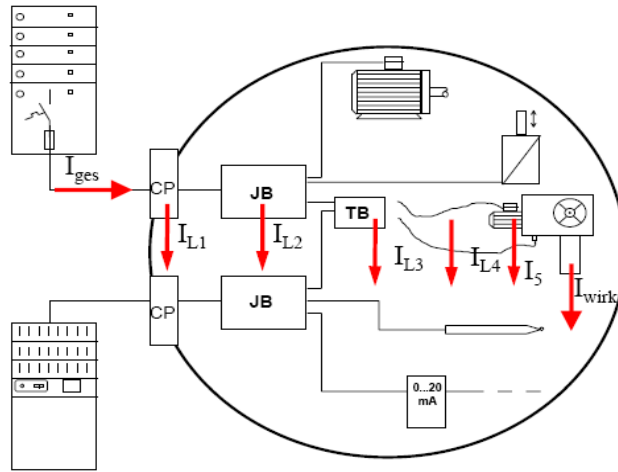
於電廠運轉開始即將相同規格電纜樣本置於同一高輻射、高溫、高振動等惡劣環境中，研判其承受溫度與輻射劑量的程度，將實驗所得數據、紀錄，以觀察實物的劣化狀況，建立自動電腦計算分析系統。以最少的人力、物力做最適的判斷，AREVA 已累積約 20 年的實驗數據與評估經驗。

②對輻射劑量效應的評估不需要過渡保守。

③訂定設備組件的的 Critical Function 及 Function Chain

界定組件受環境影響劣化的機制，建立邏輯判定的軟體系統，僅要一個電腦按鍵動作，即可以“極少量”數據的蒐集，而完成老化評估的工作。如下圖，依據 Function Chains 的觀念，依據環境惡劣程度而執行緊要功能(Critical Function)的評估，可據評估的弱點，而採取改善對策。

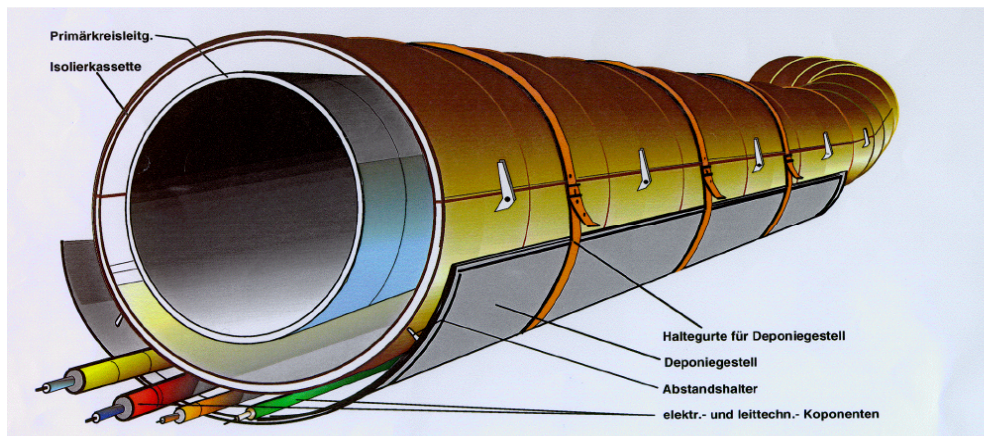
LOCA-Resistance of Qualified El. & I&C-Components: Typical Function Chains within Reactor Containment



④ 迅速、可靠的評估特點

在歐洲與德國已有多數使用的實績，參考下圖的評估機制範例，如圖所示，將樣本電纜預先放置於高輻射管路旁，量取、建立劣化的變化趨勢、紀錄。藉以研判各式材料的老化期間，各項特性參數的變化趨勢，而為新建電廠或現運轉中電廠延壽計畫評估的重要參考資料。

Cable Deposit at Primary Cooling Circuit Pipe Principle Diagram



3. 緊急柴油發電機 (EDG) 的數位化改善

①核能電廠緊急柴油發電機現代化 (Modernization) 的趨勢，緣於：

- ★ Forsmark 1 事故及老化導致不可靠度的增加。
- ★ 很多子系統零組件停產，而無法取得備品，如類比勵磁系統、氣動與類比控制系統、電磁式與類比固態式保護電驛。
- ★ 數位設備用於安全功能的接受性提高。
- ★ 系統的多樣性 (Diversity) 及單一故障隔離效益的需求。
- ★ 為追求可用性提昇及壽命延長而增加的投資。

②EDG 控制的運轉部份與安全部份之間的隔離為大多電廠的需求，有以下三種選項：

a. ★ 安全部份採用 TELEPERM XS → 最佳組合

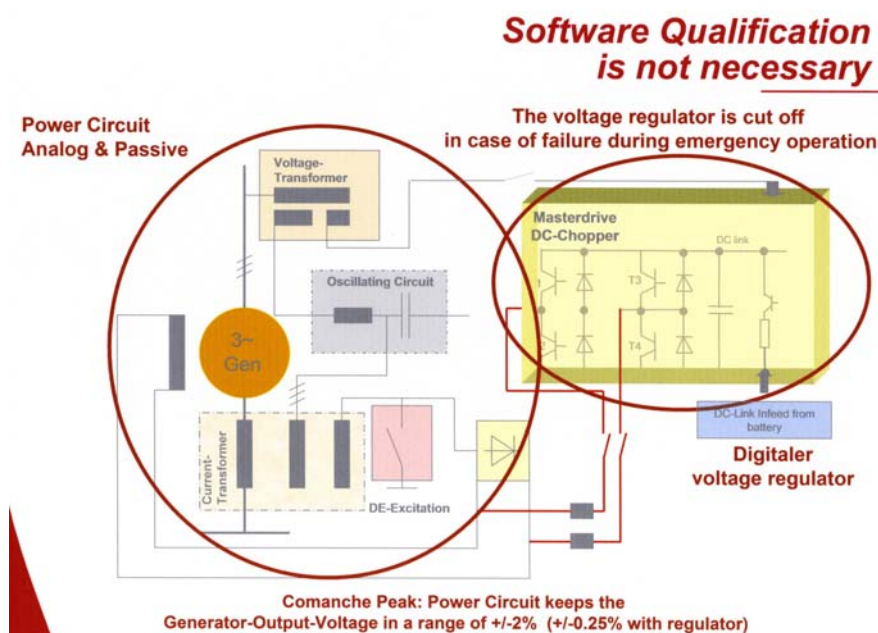
★ 運轉部份採用 SIEMENS SIMATIC S7

b. ★ 安全部份採用無軟體 (software free) 之 TELEPERM XS

→ 建議

★ 運轉部份採用 SIEMENS SIMATIC S7

如下附圖之數位自動電壓調整器 (AVR) 在正常運轉情況有調整作用，但在緊急時，則被排除控制。AVR 軟體可不必執行安全認證。



c. ★安全部份採用配線式電驛邏輯 →最便宜

★運轉部份採用 SIEMENS SIMATIC S7

以上任一選擇，在安全與非安全部份均須引用 Priority Logic，使安全驅動設備的可用性提高。此控制邏輯與 AREVA 的安全儀控系統 (TELEPERM XP& XS) 的策略一致。

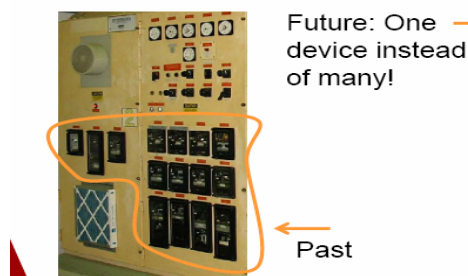
③ 緊急柴油發電機 (EDG) 保護電驛模組化與數位化

單一模組可擔任多種保護功能，降低維護、校正人力、縮小盤面佔用空間、線上量測電氣參數數值與故障狀況的追蹤。

如下圖所示：

Multifunctional Differential Protection

- Qualification Program (hardware and software) in planning stage
- Solve obsolescence issues
- Save 90% of current maintenance
- Free 80% of currently used space
- Increase reliability with
 - ◆ Self monitoring and auto alarm
 - ◆ Fault recording and evaluation
 - ◆ Trending capability



4. 芬蘭 Olkiluoto 3 核能電廠 (OL 3) 對電氣系統可靠性的設計主要需求原則有三：

① 雙重性 (Redundancy) 原則

供給廠內安全功能的電力供應系統在預期運轉暫態及假設的事故中，即使發生單一組件故障，甚至在同時執行修理或維護而致任何元件不可用，在上述兩個組件皆失效的情況下，電力系統仍必須能執行其設計功能。

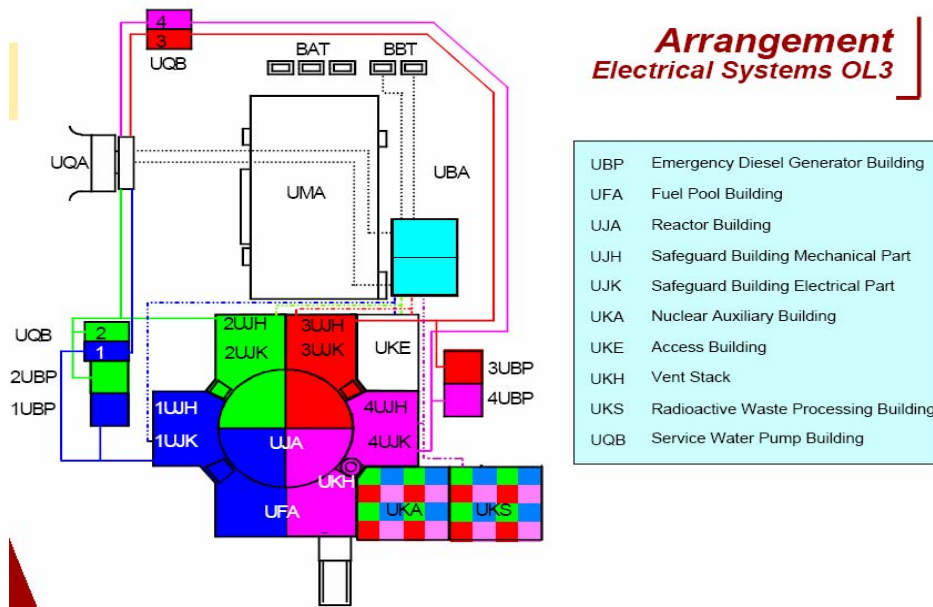
【N + 2 準則 (維護與單一故障) 4 組功能串 (4 X 50%)】

② 隔離 (Separation) 原則

在以正常運轉為目的的廠房間隔，執行安全功能的系統必須結構上的隔離；執行相同安全功能的系統及子系統，不管其是相似或不相似，彼此之間皆須保持隔離。此安全等級系統功能與結構獨立的基礎在 IEEE 384 中已陳述說明。

【 在核島 (NI) 內的四個 Division 必須實際上 (Physically) 隔離。正常供電系統 (NPSS) 與緊急供電系統 (EPSS) 隔離安全與非安全有關係統之電纜。 】

如下圖 OL 3 之四串電氣系統分隔四個方位 (顏色區分) 之佈置圖。



③ 多樣性 (Diversity) 原則

為確保安全功能，電方系統的可靠度必須予以改善以防範共因故障效應 (Common Cause Failure)，系統、子系統或元件基於運轉多樣性原則，儘可能依此原則設計。多樣性用來確保安全，在一個系統或元件無法以測試來驗證其具足夠的可靠度時，尤顯重要。

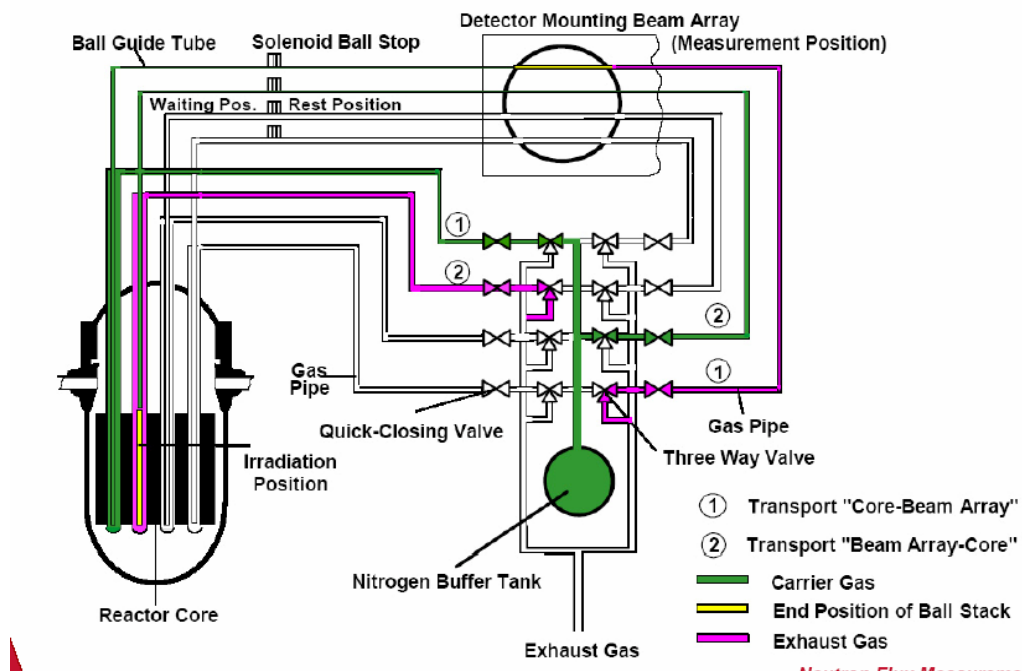
【 多樣性電源的可能性 關於數位裝置的多樣性宜採用 “非開置產品” (off-the-shelf products) 】

AREVA NP 公司安全相關電源的可靠性即依以上三準則設計。

(四)Karlstein 工廠參訪

1. 安全相關系統設備的測試，如 Pump、程控儀器、電力斷路器等，如核四廠 Class 1E 斷路器在 Karlstein 工廠執行耐震測試，會同核安處同仁查證 MCC 及中壓斷路器測試後的情況。
2. 參觀核能電廠 Aeroball Measuring System(AMS)的中子偵檢器製造過程，此為 AREVA NP 設計的爐內核儀校正系統，屬於非連續性量測，僅在特定時間或定期性量測，與固定式的爐內中子偵檢器之連續偵測方式不同，AMS 操作流程簡要，如以下示意圖：

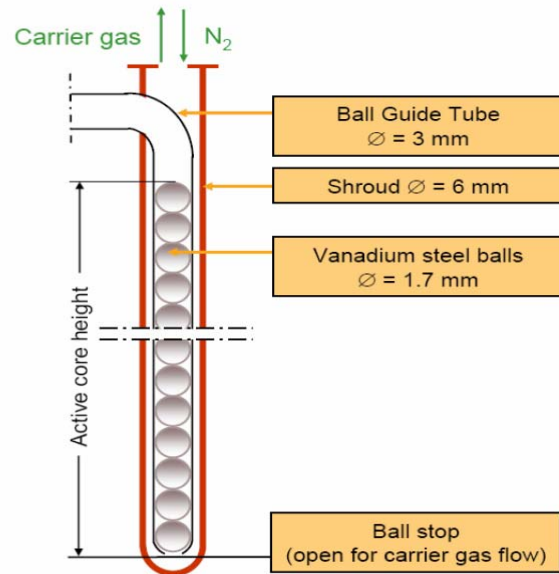
Functional Diagram of Aeroball Measuring System



Aeroball Measuring System(AMS)與熟悉的 TIP (GE系統)與 MIDS (WH 系統)有明顯的不同，其無驅動鋼纜的機構，不會有偵檢器卡在導管或堵塞的缺失。而將直徑 1.7mm 之“小鋼珠”(Aeroball，含有鈮 Vanadium 51 核種 1.54%)，每一測試路徑堆層(Stack) 約含有 2470 顆鋼珠，其須涵蓋整個爐心的活化高度；(如下示意圖所示)

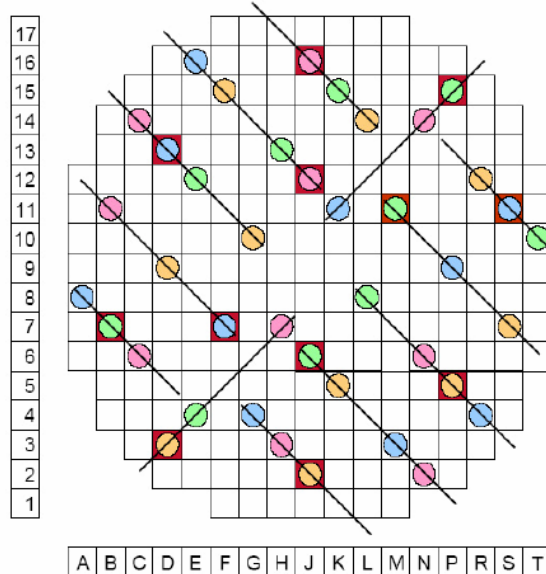
Principle of Aeroball Measurement

- Aeroball are blown into the instrumentation finger which is inserted into the guide thimble of the fuel assembly by means of a carrier gas.
- Measurement of the activity of a ball stack after it has been withdrawn from the finger in the fuel assembly where it was irradiated.
- Short measuring time
 - Flux mapping in 15 minutes
 - No impact on plant manoeuvrability



整個爐心有 40 測量通道(量測點)，分為四串(Train)子系統，可相互比較、參考。氮氣壓送入爐心的導管(guide tube)中約 3 分鐘後，再回收以量測各球受活化程度，以判斷爐內各處的中子功率分佈，而能以 3D 方式讀出爐內中子功率分佈。可同時進行多點通量分佈量測，約 15 分鐘可完成 Flux mapping，類似功能在核三廠執行約需 2 小時，AMS 具同時功率量測及高效率的特色。

Radial Aeroball Subsystem Locations



The 40 measuring positions of the Aeroball System are divided in 4 redundant subsystems of 10 positions for controlling and performing the ball transport.

- Subsystem 1
- Subsystem 2
- Subsystem 3
- Subsystem 4
- Power Density Detector
- Instrumentation Lance

3. 核四廠電氣課陳課長委託澄清中壓斷路器 SWGR DC Fuse 之更換拔出的方法，以及核四實物是否設計有誤。

經 Karlstein 技術人員實務操作更換要領，並確認與圖面相符，正確無誤。只要將 Fuse Cover 從下往上翻，即可順利拔出 Fuse，並無感電之虞。如下圖中間 Fuse/Cover 已翻開所示。



(五) Isar 核能電廠參訪



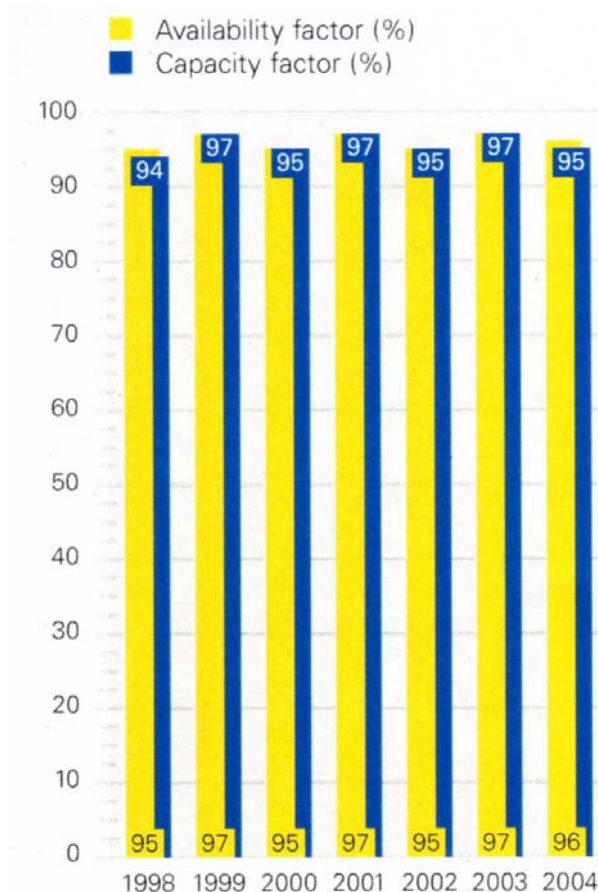
Isar 核能電廠有兩部機，一號機為 BWR ，容量為 912 MWt ；二號機為 PWR ，4-Loop ， 容量為 1475MWt ，發電機為 1500 rpm ，1640MVA 。本次參訪機組為 Isar 2 。

Isar 2 於 1982 年開始施工，1987 年 Reactor Fuel Loading ，1988 年開始試運轉後商轉。是一績效相當優異的核能電廠。

1994 年獲得年度發電量世界冠軍，爾後在 1999~2004 年，連續五年獲得發電量世界冠軍。

其 2003/2004 年的可用因數(Availability Factor)為 96.93 % / 95.57 %，而 2003/2004 年之容量因數(Capacity Factor)為 96.53% /95.39 %。

如下圖所示：



Isar 2 於 2004 年的毛發電量為 12,239,486 MWh ，營運績效相當亮麗。除了 7/18~8/3 為期 16 天的機組更換燃料及歲修外，其餘皆無間斷地運轉、無非計劃性停機。

在 16 天的機組更換燃料及歲修期間，其主要工作為例行性量測，並無複雜的個別量測工作須執行，主要工作包括圍阻體洩漏試驗、另外泵浦進口濾網(Suction Strainer)的安裝以及冷卻水塔 Drift Eliminator 的部份交換。

Isar 2 平均容量因數約為 96%，相當高，均為世界排行前幾名，與其歲修時間短很有關係。而歲修時間縮短又與其平常的例行性維修工作的安排規劃有關，此又牽涉到電廠的**安全系統設計採 N + 2** 理念有絕大關係，因此，可大量工作(尤其安全串設備)安排在線上維修所促成。此設計理念值得我們深思。

在參訪過程，觀察其運用完備的自動化測試裝備正進行一安全串蓄電池的容量試驗，其工作效率可見一斑。此亦為核能電廠線上維修的一個良好範例。

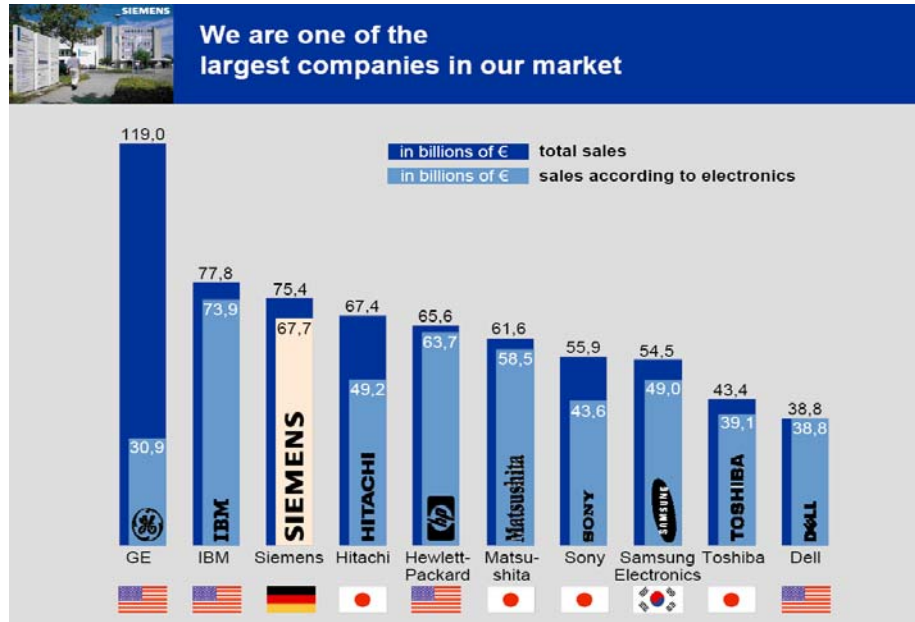
在 Isar 2 核能電廠有一 1:50 的廠房設備模型，任一樓層、設備、通道、管路皆有詳細以小比例實物安設，且各廠房之間可分離推開以觀察內部的設備；當欲進入廠房內任一地區時，可事先藉此廠房設備模型觀察行進路徑，尤其是高輻射區，可有效改進工作效率。

(六) Karlsruhe 工廠參訪

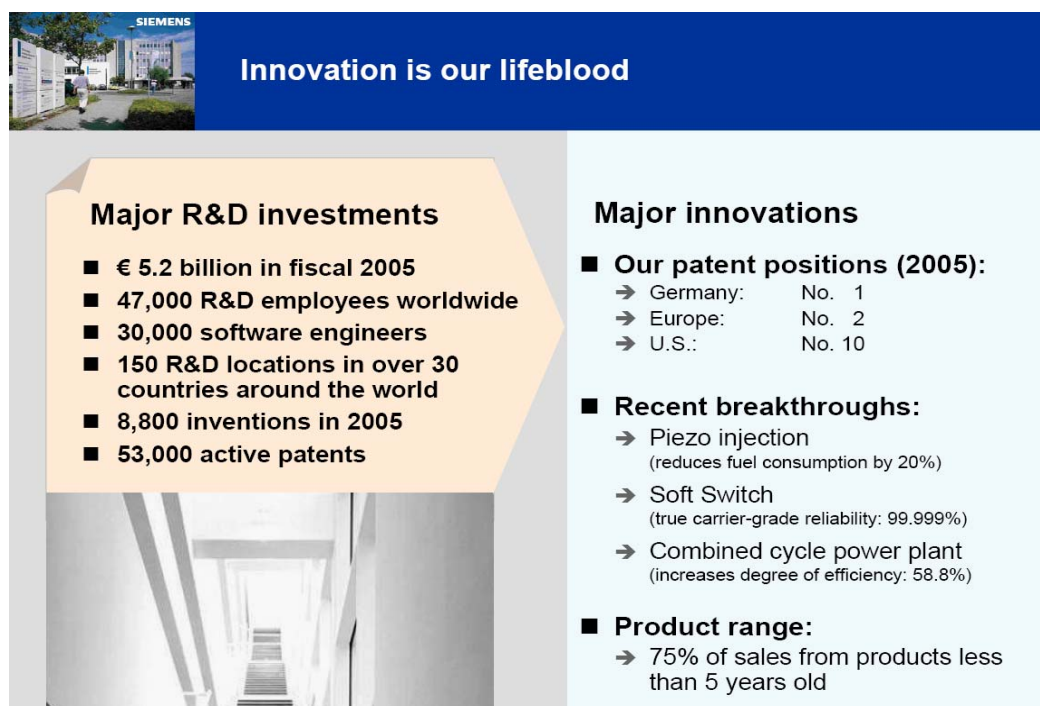


1. SIEMENS 企業概況

SIEMENS 在世界各電氣領域市場的比例，皆可顯示其為業界的世界級氣勢，從以下之直條圖可瞭解其經營的規模：



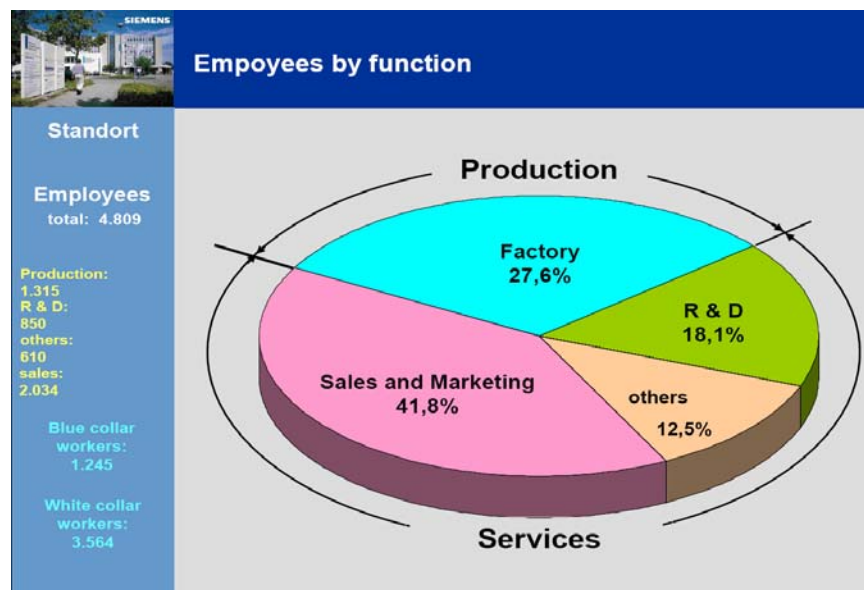
而其在研發與創新上所投入的人力、物力與成本，在工廠自動化、程序自動化、大樓自動化皆有卓越的成就，促成了其在工業界的地位，由以下數字可顯示其對研發重視的企業文化：



2. Karlsruhe 工廠的概況

Karlsruhe 工廠是屬於 SIEMENS 的一家儀控系統設備生產工廠，資本額約有 1.5 billion €，員工有 4809 人，廠房面積約有 313,000 M²，廠區範圍涵蓋公路的兩旁，如上圖所示。產品約有 2000 種，而 AREVA NP 的數位儀控系統 TELEPERM XP 系統即在此生產。

Karlsruhe 工廠員工的業務類別及比重如下圖所示：



Karlsruhe 工廠的生產業務範圍有：SIMATIC 程控系統、網路軟體的人-機界面、SIMATIC PCS7 閉迴路控制系統、閉路電視系統、程序分析儀器、大樓空調及入侵視訊監控系統等，在其產品展示館皆有詳細的介紹；而以上產品則應用於工廠自動化、汽車排氣檢查系統、工業網路的監測、發電廠自動化、無線通訊網路、環保監測系統、冶金程序自動化、大樓自動辨識保全系統。而工業自動化系統則著眼在汽車工業的製造程序自動化。

3. TELEPERM XP (SPPA T2000) 數位系統製造

TELEPERM XP 卡片的製造及品管程序是此次參訪 Karlsruhe 工廠的重點項目。對控制卡片元件的自動擷取、安插、焊點檢查、溫度循環測試、功能測試、長時功能監測記錄、

檢修再測試、包裝及入庫管制，其自動化程度與品保制度皆有良好的計畫，德國工業產品的品質能在世界上屹立不搖、享譽多年，確有其獨到之處。其在工程技術領域上的專業與敬業態度令人佩服，值得我們效法與學習。

4. 在 Karlsruhe 工廠參觀其生產線時，原希利用此機會，照幾張重要步驟的相片。以為日後的存參，但廠方在進入生產線的門旁即貼有禁止拍照的張貼，為尊重廠方規定，未提出拍照要求，雖稍感遺憾，也只能作罷。而在 Erlangen 的 TELEPERM XS 之 Test Bay 亦不允許拍照。這或許是企業界的習慣罷。

參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

- 一、本次出國洽公期間在 12/3~12/16，歐洲已是寒冷的冬天，在法蘭克福期間，一日清晨氣溫曾低至零下 4℃，一般皆是 5~10℃；但德國朋友說今年歐洲是暖冬，否則已是白雪皚皚了，這讓我預期“賞雪”的希望落空了。但由於初次於冬天遠赴歐洲，儘管出國前已有同事告知，但禦寒衣物仍然準備不週，以致出門時，雙手被凍僵了，初次體會“寒冬”的感覺，下次須引以為戒。
- 二、德國的高速公路“無速限”的傳聞，令人嚮往，但接待的德國朋友已先被告知“勿開車太快，以免嚇壞台灣朋”。德國朋友開車的“謹慎”讓我有些失望，在我的“慫恿”之下，他一踩油門車子往前衝，一下衝到 200 km/hr 速度，但似乎無預期的“快感”。事實上，德國高速公路並非皆無速限，一些路段仍有傳統的速限；一些則視路況而有速限，且一旦狀況排除，該路段的電動路標即顯示“速限解除”，又可恢復高速行駛，一般而言，皆在 120 km/h 以上。
- 三、最後一天公事完畢，德國朋友驅車前往德法邊界見識“國界”，但兩國均無移民官員驗證、“看守”。僅交界處兩邊各豎一支標示牌，指出一側為德國，另側為法國而已。我一腳踩德國一腳踩法國，腳踩兩國拍照留念，心中感受甚多。此代表歐盟“無國界”的象徵，而兩國人民密切交流，往來謀職，宛如國內。最近該邊境地區將開闢一條鐵路，從法國邊區至德國法蘭克福，將使兩國人民的交往更為密切與方便。在德國的高速公路上，可看到歐洲(可從車牌辨識國別，包括俄羅斯)各國車輛往來奔馳，“無國界”的理念充份顯示出來，而國家的狹隘觀念似乎感到模糊。
- 四、訪德期間已接近耶誕節，各地慶祝佳節的氣氛漸濃，德國朋友帶往參觀各地 Christmas Market，各處車水馬龍，每人

手上端著一杯德國傳統的飲料暢飲著，攤販雲集販賣德國傳統的美食，人人臉上充滿喜悅的笑容。尤其像紐倫堡、法蘭克福等知名城市的 Christmas Market 更是觀光客雲集，新年的氣氛將每人的心情都提到了最高點，西洋人對耶誕節的重視與狂熱令我這東方人不知不覺都感染了歡樂的氣息。

肆、國外公務之心得與感想

一、此次出國洽公擬討論的項目，已事先送給 AREVA NP 公司參考，讓其預先規畫訪談部門、人員及討論主題；而德國人做事的實事求是之精神令人佩服，爲了讓主客雙方充份達到交流與溝通的目的，行程可說安排地相當緊湊，除了期間一個星期六、日外，其餘每天時程皆安排地滿滿的，每天與 AREVA 公司各部門的對口人員討論再討論，德國人無午睡的習慣，用完午餐除了短時的散步外，即返回辦公室處理公務。

AREVA 人員彷彿要把所有的資訊在短時間內，全部塞入我腦子內，德國人這種工作方式及態度與以前公出美國或日本的方式不太一樣。令人覺得很不輕鬆，但事後覺得，還真談到不少事情的核心，收獲不少。

二、從此次 AREVA NP 的洽公行程，德方主動安排核能電廠及儀器工廠的參訪，其目的在於加深我們對重點議題“TELEPERM”儀控系統的瞭解，以提高我們對該系統的信心，期待該系統能進入台電核能電廠安全系統，讓台電能充份瞭解 AREVA 的科技，而引進入高階系統。尤其德國核電廠易允許外國人參觀，可見其對台電參訪人員的重視。

三、最近幾年來，德國核電的發展受到相當的挫折，其營業額明顯地下滑，尤其國外市場的競爭相當激烈，各跨國大企業的合併也常耳聞；AREVA NP 爲經濟效益，爲德法合組公司，發展標準型的“歐洲型壓水式反應爐”(EPR)積極爭取海外核能市場，建立各立足據點，而中國則是一個相當重視的新核能市場，如秦山(Qinshan)、田灣(Tianwan)及芬蘭(Olkiluoto 3)等核電廠的儀控系統更新或新廠，都引用 TELETERM XP/XS 數位儀控系統，此成功的經驗成爲 AREVA 強力推銷的範例，在本次參訪中，多次介紹以上案例。

AREVA NP 的 TELEPERM XS 儀控系統尚未用在本公司核能電廠的安全數位儀控系統，因此，核三廠目前進行的 NSSS 保護系統由類比更新為數位儀控的計畫，引起 AREVA NP 相當大的重視，其極有企圖心參與本案的改善計畫。希望能成功，而藉此建立長期的數位儀控市場。其企圖心在 AREVA NP 各儀電部門主管的訪談中表露無遺。

四、我對 AREVA NP TELEPERM 之的認識如下：

- (一) TELEPERM XS 數位儀控系統是專為安全系統設計的產品，其各項特性都較 TELEPERM XP(使用於非安全有關係統)為優，可靠度都較 TELEPERM XP 為高，符合各種法規對安全系統的規範，其為真正核能級產品，並非商業級產品經檢證後的核能同級品。
- (二) TELEPERM XS 數位儀控系統亦可應用於非安全有關係統，可提昇可靠度與暫態反應能力。
- (三) 可以“模組式”的更新取代舊有類比組件，不須整個組件連控制盤一併更換。
- (四) TELEPERM XS 數位儀控系統已獲美國 NRC 認可可應用在安全有關係統，符合 IEC 60780、IEEE 323 以及 KTA 3503 法規。

伍、對本公司之建議事項

一、安全數位儀控改善的經驗與規劃為此次出國洽公的主題，經過約八天的密集討論，參酌德國的數位儀控系統值得我方參考的重點，建議如下：

(一)安全有關數位儀控系統應使用真正“核能級”產品，不可使用“核能檢證品”，才可確保高階的可靠度。

(二)反應器保護系統(RPS)採用四串，應用【N+2】原則，即可一串執行偵測試驗，並允許一串故障，兩串即可執行100%的安全功能，除可確保安全等級外，且可增加維護上的靈活度。

(三)安全數位儀控詳細設計、規畫、執照申請、測試等所費時間甚長，從廠商得標至交貨完成(FAT)約需 20 個月，對改善案的時程必須審慎規畫，才能符合預期的上線日期。核三廠規畫中的改善案尤須注意時程的掌握。

(四)本公司核電廠的設計大都參考美國法規執行，習慣上，探詢的資訊大都來自美國廠家；實際上，歐洲也有很多優秀的核能製造廠家，儀控設備亦是。在資料蒐集時，宜把歐洲廠家列在邀請之列，才可促起廠家間的競爭，而謀取台電最大利益。

(五)安全數位儀控的更新案，引用的法規與標準是以美國的標準為主要參考的文件，但國內主管機關原能會的態度相當重要，相關引用的條文必須獲得原能會的認可，因此，在安全數位儀控評估及引用標準討論的過程中宜密切與原能會溝通，先期取得共識，此改善案才得以順利推動。

(六)未來數位儀控的投標廠家，必須是相關產業 User' s Group 的一員，可從其中取得各會員的經驗回饋，以加速提昇本公司的技術、經驗能力。在系統安裝之後，未來長期的運轉、維護、改善上的技術問題，才可提供可

靠的支援系統。

(七)安全與非安全數位儀控之間的界面要妥善設計，使在緊急情況之下，即使安全相關控制失效，亦能透過非安全相關系統在不降低系統等級的前提之下，而接替安全相關系統執行安全功能。

二、安全有關電氣設備的數位化是此次出國的另一討論主題，而緊急柴油發電機的電控數位化也是大家所關注的。如傳統的 EM 保護電驛更新為模組化的數位化保護電驛模組，可節省盤面空間並提昇監控功能，AVR 數位化也是評估的目標。。

三、從 Isar 2 核能電廠優良績效、高容量因數的亮麗成績，探討之下，以為線上維護的觀念必須強調落實，才能有效縮短大修工期。

如四串控制系統，可允許兩串失效，仍可執行 100%安全功能，則很多工作在平時即可掛卡維修，自然減少大修工作項目，工期即可有效降低；另外重要設備改良設計可從事線上更換，亦可降低降載檢修的時間，如中子偵檢器可運轉中抽出檢修、更換，機組容量因數必可有效提高。

四、共因失效(Common Cause Failure)最有效的防範措施，即是分散式設計(Diversity) 有 Function Diversity、Design Diversity 兩種方式。在安全設計時，宜建立此最適的設計。在數位儀控系統更新時，宜將此觀念列入設計考量。